

Aus dem Institut für animalische Physiologie der Universität
Frankfurt am Main
(Direktor: Prof. Dr. K. Wezler)

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ARBEITSHYPERÄMIE BEI VERSCHIEDENER
TEMPERATUR UND LAGE DER UNTERARM MUSKULATUR

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin
der hohen medizinischen Fakultät
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt/Main

vorgelegt von
Gerhard Jamin
aus Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, den 22. 1. 1965

Dekan: Prof. Dr. H. Frick

Referent: Prof. Dr. W. Schroeder

Koreferent: Prof. Dr. K. Pirlet

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Mai 1965

Herrn Prof. Dr. S c h r o e d e r möchte ich für die
Überlassung des Themas sowie für seine wertvollen Rat-
schläge und Hinweise bei der Durchführung der Arbeit
meinen Dank aussprechen.



Digitized by the Internet Archive
in 2026



https://archive.org/details/IA41551901_0010

A. Einleitung

=====

Die "Arbeitshypæraemie" der Skelettmuskulatur, d.h. die Durchblutungszunahme nach Muskularbeit, ist bisher ausschließlich mit der Methodik der Venenverschußplethysmographie untersucht worden. Mit dieser Methodik können jedoch wegen der zeitraubenden Einzelbestimmungen nur länger anhaltende Durchblutungssteigerungen nach entsprechend großen Arbeitsbelastungen erfaßt werden. Diese Meßmethodik läßt sich deshalb bei Kontraktionen von wenigen Sekunden Dauer, wie sie im Tagewerk der meisten Menschen normalerweise vorkommen, nicht verwenden. Es ist aber auch keine andere Methode bekannt geworden, welche entsprechende quantitative Messungen bei kurzdauernder Muskularbeit gestatten würde.

Dagegen bietet sich für Vergleichsmessungen, wie sie bei den Untersuchungen der vorliegenden Dissertation beabsichtigt waren, eine von Schroeder (1963) entwickelte Methodik an, mit welcher Änderungen des integrierten Kapillardruckes in den Muskelgefäßen fortlaufend aufgezeichnet werden können, so daß kurzfristige Durchblutungsänderungen meß- und vergleichbar erfaßt werden können. Mit dieser Methodik wurde untersucht, ob die nach kurzer Muskularbeit (1 bis 10 sec) zu beobachtende normale Durchblutungs- (Kapillardruck-)reaktion der Gefäße der Unterarmmuskulatur durch Temperatur- bzw. Lageänderungen derselben beeinflußt werden kann.

Die Messung der Kapillardruckänderung als Maß der Durchblutungsänderung beruht auf folgender Überlegung (Einzelheiten s. methodischer Teil): Während oder unmittelbar nach Muskularbeit steigt -

in Abhängigkeit von der Arbeitsgröße - die Durchblutung der Skelettmuskulatur infolge Erweiterung oder Eröffnung von Kapillaren an. Hierdurch nimmt aber nicht nur die Stromstärke, sondern auch der Druck in den aktiven, an der momentanen, nutritiven Versorgung der Muskelfasern beteiligten Kapillare zu. Der veränderte Funktionszustand der nutritiven Kapillaren kann also sowohl an der erhöhten Kapillardurchströmung als auch am erhöhten Kapillardruck erkannt werden.

Bisher ist der Einfluß der Extremitätenlage und der Muskeltemperatur auf die Größe der Arbeitshyperaemie kaum untersucht worden. Wir kennen nur den Einfluß dieser Faktoren auf die Ruhedurchblutung der Muskulatur, welche durch Lageänderungen nicht beeinflusst wird, während sie durch Abkühlung zunimmt und durch Erwärmung wahrscheinlich nur wenig verändert wird (s. Tab. 5).

Temperaturänderungen: Bezüglich der Arbeitsdurchblutung haben Clark, Hellon und Lind (1958) gefunden, daß die Arbeitshyperaemie mit steigender Temperatur des Unterarmwasserbades (2 bis 42° C) zunimmt.

Untersucht wurden die Reaktionen auf submaximale, annähernd isometrische Kontraktionen der Unterarmmuskulatur von 90 sec Dauer am Dynamometer. Die Muskeldurchblutung wurde 6 cm proximal der Unterarmmitte gemessen (Venenschlußplethysmographie mit dem Plethysmographen von Whitney).

Im Gegensatz hierzu hatten Coles und Cooper (1959) bei isotonischen Kontraktionen der Unterarmmuskulatur (15 Kontraktionen in 2 sec Abstand, Venenschlußplethysmographie mit Luftplethysmographen)

nachweisen können, daß die Größe der Arbeitshyperaemie durch Abkühlung des Armes nicht beeinflußt wird.

Die Diskrepanz zwischen den beiden zitierten Versuchsergebnissen wurde von Clark und Hellon (1959) mit den veränderten physikalischen Eigenschaften der kühleren Muskulatur erklärt: Die Zunahme der Viscosität nach Abkühlung müsse bei rhythmischen Kontraktionen einen der Kontraktionsfrequenz proportionalen höheren Energiebedarf erfordern. Dieser höhere Energiebedarf wird als Ursache dafür angesehen, daß die Arbeitshyperaemie nach Abkühlung nicht abnimmt, sondern bei geeigneter Arbeitsfrequenz konstant bleibt. Bei der Dauerkontraktion verringerte sich dagegen die Arbeitsdurchblutung mit der Abkühlung, wie dies bereits von Clark, Hellon und Lind (1958) gefunden worden war.

Lageänderungen: Der Einfluß der Lageänderungen auf die Arbeitsdurchblutung scheint bisher nur von Dean und Skinner untersucht worden zu sein. Bei diesen Untersuchungen wurde aber nicht die Lage der untersuchten Unterarmmuskulatur, sondern die Lage des Körperstammes und der unteren Extremität durch eine mit Rollen und Seilen kippbare Liege verändert. Die Unterarmdurchblutung wurde mittels Venenverschußplethysmographie ermittelt, und als Arbeitsform wurden submaximale, rhythmische Kontraktionen oder Dauerkontraktionen der Unterarmmuskulatur gewählt. Durch Heben des Rumpfes und der unteren Extremitäten (= Senken der oberen Extremitäten) wurde die Ruhedurchblutung erhöht, während die Arbeitsdurchblutung (Flächenintegral aus Dauer und Größe der Arbeitshyperaemie) unverändert blieb.

B. Methoden der Muskeldurchblutungsmessung

Durchblutungsveränderungen der Extremitätenmuskulatur können, wie in der Einleitung ausgeführt, sowohl an Änderungen der Stromstärke wie des Kapillardruckes erkannt werden. Bei den heute fast ausschließlich gebrauchten Methoden handelt es sich um Messungen der Stromstärke, deren absolute (Venenverschußplethysmographie) oder relative Änderungen (Messungen der Wärmeleitfähigkeit) ermittelt werden.

a) Venenverschußplethysmographie:

Die Venenverschußplethysmographie (Brodie und Russel 1905) wird als die verlässlichste Methode angesehen. Hierbei wird der Unterarm oder ein Teil desselben (Segmentplethysmographie) in ein Rohr eingeschlossen, dessen Enden mit der Haut der Extremität gut abgedichtet sind. Das mit Wasser oder Luft gefüllte Rohr ist mit einem Volummessers (z.B. Mareysche Kapsel) verbunden, durch den Volumenschwankungen der Extremität aufgezeichnet werden können. Bei Unterbrechung des venösen Rückstromes am Oberarm durch eine auf 60 bis 70 mm Hg aufgeblasene Manschette kommt es infolge des unveränderten arteriellen Zustromes zu einer Volumenzunahme der Extremität, welche der arteriellen Stromstärke (ml/min) proportional ist und durch den Volummesser quantitativ ermittelt werden kann.

Die Venenverschußplethysmographie kann natürlich nur die Durchblutung in der ganzen Extremität, also im Haut und Muskelorgan messen.

Das Prinzip der Venenverschlußplethysmographie kann aber zur Messung der Muskeldurchblutung verwendet werden, wenn die Bestimmung in einem schmalen Segment des oberen Drittels des Unterarmes erfolgt, wo das Verhältnis des Muskelgewebes zum Hautgewebe relativ groß ist (Withney 1953, Schroeder 1963, Barbey 1963).

b) Wärmeleitsonde

Für die Registrierung relativer Durchblutungsänderungen der Muskulatur durch Messungen von Änderungen der Wärmeleitfähigkeit werden geheizte Thermoelemente (Gibbs (1933), Hensel und Ruef (1954)) verwendet. Die sogenannte Wärmeleitsonde von Hensel und Ruef besteht aus einer Kanüle, welche in die Muskulatur eingestochen wird. In der Kanülenspitze befindet sich ein elektrisches Heizsystem, das mit konstantem Wechselstrom geheizt wird. Weiter enthält die Spitze ein thermoelektrisches Meßsystem, das die Temperaturdifferenz zwischen der geheizten Kanülenspitze (2 bis 3 Grad Übertemperatur) und einem 10 mm entfernten Punkt im Kanülenschaft mißt. Diese Temperaturdifferenz ist der Wärmeleitzahl des Muskels proportional, die ihrerseits von der Durchblutungsgröße abhängt. Die Wärmeleitsonde kann nur Durchblutungsänderungen in einem relativ kleinen Gewebebezirk (an der Sondenspitze) erfassen. Für eine genügende Empfindlichkeit muß die Sondenspitze an einer kleinen Arterie liegen, d.h. Durchblutungsänderungen im Kapillargebiet selbst werden mit der Sonde nicht registriert.

c) Erfassung von Durchblutungsänderungen der Extremitätenmuskulatur durch Registrierung des "integrierten Kapillardruckes" nach

S c h r o e d e r

Diese Methode erlaubt einen Einblick in Veränderungen der nutritiven Durchblutung, d.h. der Durchblutung der Masse der die Skelettmuskelzellen versorgenden Kapillaren. Wie mit den geheizten Thermoelementen lassen sich aber auch mit dieser Methodik nur relative Durchblutungsänderungen verfolgen. Der Nachweis von Durchblutungsänderungen mit Hilfe der Kapillardruckmessung ist aus dem Grunde möglich, weil bei konstanter arterieller Blutdruckhöhe jede regulative Arteriolen-erweiterung nicht nur die Stromstärke, sondern auch den Druck in den Kapillaren steigert. Bei experimentell konstant gehaltenem Strömungswiderstand der Kapillaren muß diese Drucksteigerung der Stromstärkesteigerung in den Kapillaren linear proportional sein (Schroeder 1959).

Praktisch können Kapillardruckänderungen nicht in der einzelnen Kapillare, sondern nur in der Masse der Kapillaren eines Gewebes ("integrierte Kapillardruckänderungen") ermittelt werden, indem man die in dem betreffenden Gewebe auftretenden Druckänderungen nach Ausschalten der Gefäßwandspannung der Niederdruckgefäße (Venen, Venolen, Kapillaren) registriert. Hierzu wird das Haut-Muskelgewebe des zu untersuchenden Unterarmes (im oberen Drittel) durch ein Metallband (Einzelheiten s. später) unter einen Druck von 35 mm Hg gesetzt (= obere Kapillardruckhöhe). Durch diesen "Entlastungsdruck" von 35 mm Hg werden die Wände der Niederdruckgefäße entspannt, und es wird der Venenquerschnitt verengt bzw. der Strömungswiderstand in den

Venen soweit erhöht, daß der Druck in diesen Gefäßen größenordnungsmäßig der Kapillardruckhöhe entspricht. Druckänderungen in den Kapillaren werden jetzt über die Venen und durch die entspannten Venenwände auf das umgebende Muskel- und Hautgewebe übertragen und können von einem im Metallband befindlichen Druckmeßkopf gemessen bzw. fortlaufend registriert werden (Abb. 1).

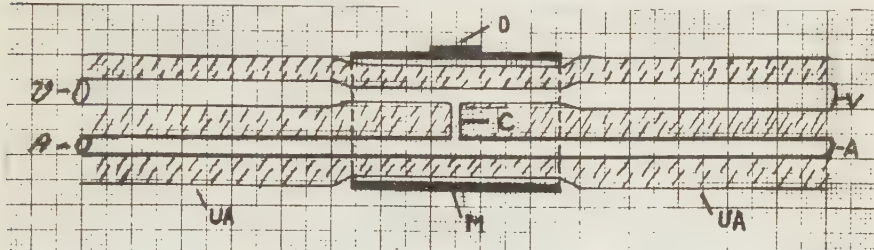
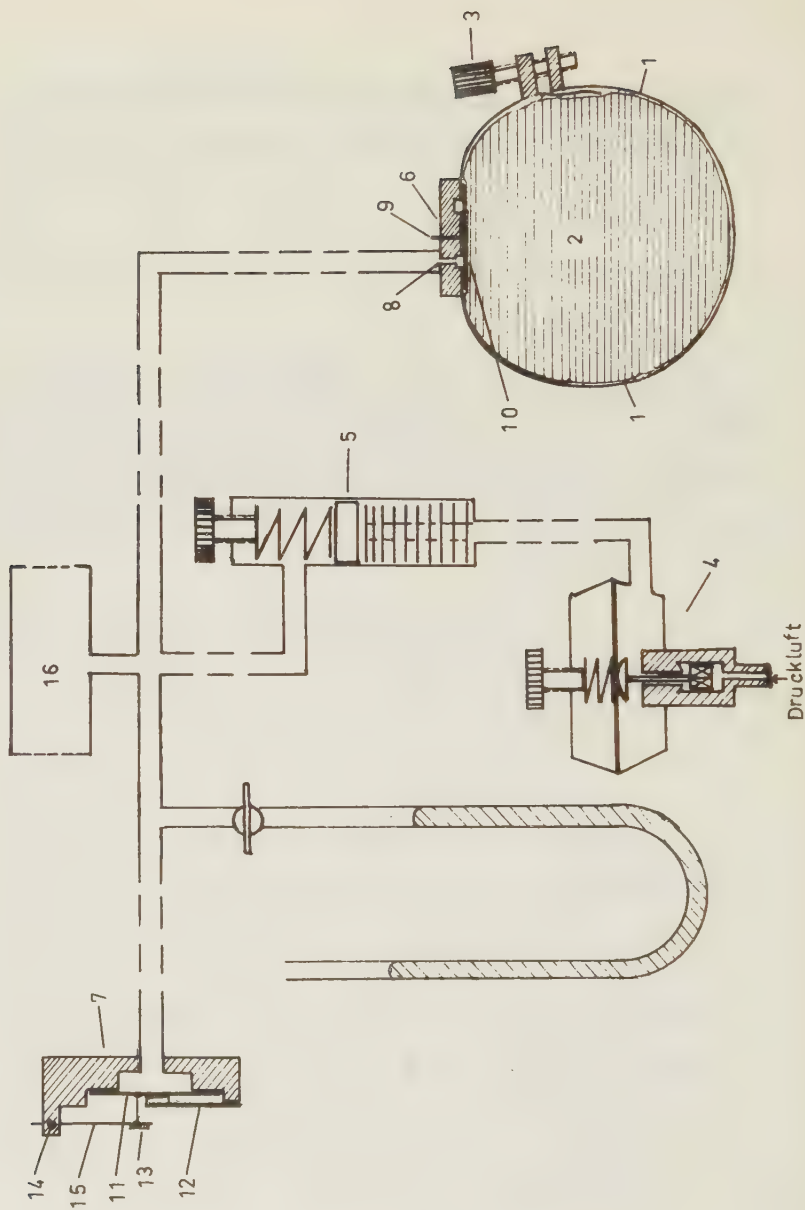


Abb. 1 Schematische Darstellung des Unterarmes mit seinen Gefäßen und angelegter Pelotte.

V = Venen, A = Arterien, UA = Unterarm, D = Druckkopf, M = Manschette und C = Kapillare.

Durch diese Methodik werden selbstverständlich auch die Reaktionen der Hautgefäße miterfaßt. Hierdurch kann die Anzeige einer veränderten Muskeldurchströmung bei gleichzeitig entgegengesetzter Reaktion der Hautgefäße lediglich quantitativ, nicht aber qualitativ beeinflusst werden, weil in dem gewählten Extremitätenabschnitt (oberes Drittel des Unterarmes) der Anteil der Muskelgefäße 7 bis 8 mal größer als derjenige der Haut ist (Cooper und Mitarbeiter 1955).

Schematische Darstellung der Meßanordnung Abb. 2



Beschreibung der Meßanordnung (Abb. 2)

Die 1959 angegebene Pelotte zur fortlaufenden Registrierung des integrierten Kapillardruckes konnte von Schroeder inzwischen weiterentwickelt bzw. vereinfacht werden. Sie besteht aus einem 5 cm breiten und 0,1 mm dicken Metall-(Bronze)band (1) mit pneumatischem Druckmeßkopf. Das Metallband wird ringförmig um das obere Drittel des Unterarmes (2) gelegt und durch Schrauben (3) angezogen, bis durch den Meßkopf ein Druck von 35 mm Hg angezeigt wird.

Die gesamte Meßanordnung besteht aus einer Druckluftflasche mit Druckminderer (eingestellt auf 100 mm Hg), dem Strömungswiderstand, der Pelotte mit dem Druckmeßkopf und dem optischen Manometer. Die Druckluft strömt von dem Druckminderer (4) zum Strömungswiderstand (5) - durch den der Luftdurchfluß auf etwa 1 l/min eingestellt wird - zum Druckmeßkopf (6) der Pelotte bzw. über ein T-Stück zum optischen Manometer (7). Der Druckmeßkopf hat einen spaltförmigen Raum, in den die Luft durch einen Einlaßstutzen (8) ein- und durch eine Austrittsöffnung (9) von 0,15 mm Durchmesser wieder ins Freie tritt. Armwärts ist der spaltförmige Raum durch eine spannungslose Kunststoffmembran (10) abgeschlossen. Durch Druck auf die Kunststoffmembran wird der Luftabstrom gedrosselt, so daß der Druck in den zuführenden Schläuchen ansteigt.

Die Dimensionen des Druckmeßkopfes sind so gewählt, daß der Druck in der Luftleitung linear proportional zum Druck auf die Kunst-

stoffmembran (Gewebedruck) ansteigt. Die Druckänderungen in der Luftleitung werden durch das optische Manometer gemessen bzw. mit Hilfe eines Photokymographions aufgezeichnet. Das optische Manometer ist durch eine Gummimembran (11) verschlossen, welche bei Drucksteigerungen eine Blattfeder (12) durchbiegt. Die Bewegungen dieser Feder werden über einen Faden auf einen Spiegel (13) übertragen, dessen Drehachse ein doppelter aufgedrehter Perlonfaden (14) bildet. Durch Verschieben des Spiegelträgers (15) in der Perlonfadenachse kann die Empfindlichkeit des Manometers kontinuierlich geändert werden. Die Bewegungen des Spiegels werden optisch durch ein Photokymographion registriert. An die Schlauchleitung ist weiter ein Windkessel (16) von 1 l Inhalt zur Dämpfung (Verkleinerung) der pulsatorischen Druckwellen angeschlossen, weil nur die Änderungen des Mitteldruckes ausgewertet wurden. Vor jedem Versuch wurde die Meßanordnung statisch geeicht, indem mit Hilfe einer Mareyschen Kapsel auf den pneumatischen Druckmeßkopf Drücke von 35, 40 und 45 mm Hg ausgeübt und gleichzeitig die Ausschläge des optischen Manometers registriert wurden.

Versuchspersonen, Durchführung der Versuche und Auswertung der registrierten Kurven

Um individuelle Reaktionsformen einer größeren Anzahl von Versuchspersonen auszuschließen, wurden alle Versuche an drei männlichen Studenten (H. 25 Jahre alt, J. 26 Jahre alt, G. 24 Jahre alt) durchgeführt. Alle Messungen erfolgten im oberen Drittel des re. Unterarmes der bequem in einem Sessel sitzenden Versuchsperson. Der Unterarm, am Ellbogen- und Handgelenk durch Kunststoffpolster gestützt, lag horizontal, bei den Versuchen mit unterschiedlicher Temperatur in Herzhöhe, bei den Versuchen mit unterschiedlicher Lage oberhalb bzw. unterhalb Herzhöhe. Nach einer Ruheperiode von etwa 15 min wurde die Pelotte angelegt und bis zu einem Entlastungsdruck von 35 mm Hg angedreht. 5 bis 10 min später wurde mit der Arbeit begonnen.

Als Arbeitsform wurde die Kompression eines luftgefüllten Gummiballons (Oberfläche 100 cm^2) gegen einen Druck von 0,5 Atm. gewählt (etwa 30 bis 40 % der maximalen Muskelkontraktion). Dieser Druck konnte an einem mit dem Ballon durch einen Gummischlauch verbundenen Zeigermanometer abgelesen werden und mußte in den einzelnen Versuchsreihen für eine Zeitdauer zwischen 0,5 und 10 sec gehalten werden. Vor jeder Registrierung wurde die Höhe des Entlastungsdruckes am Hg-Manometer kontrolliert.

Zur Änderung der Muskeltemperatur wurde der Unterarm mit einem 40 cm langen Brauserohr mit Wasser von ca. 12°C bzw. 45°C für 25 bis 30 min berieselt. Nach Untersuchungen von Barcroft und Edholm (1945) sowie Clark, Hellon und Lind fällt die Muskeltempe-

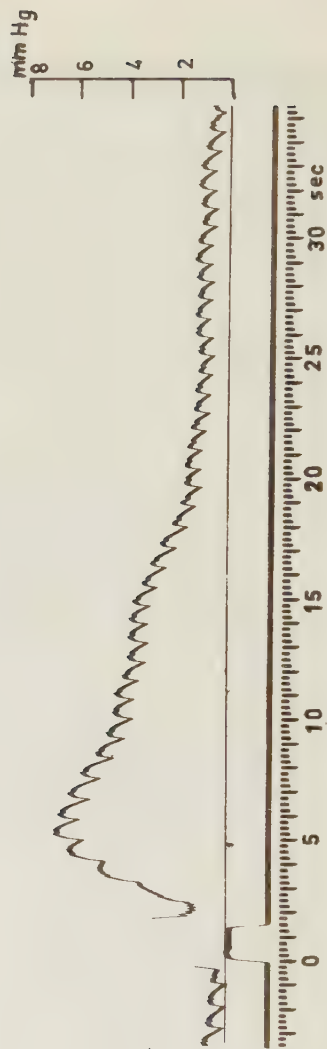


Abb. 3: Fortlaufende Registrierung des integrierten Kapillardruckes nach kurzdauernder Muskelkontraktion. Zeit u. Dauer der Muskelkontraktion werden durch den Ausschlag der Linie oberhalb der Zeit-Schreibung angezeigt.

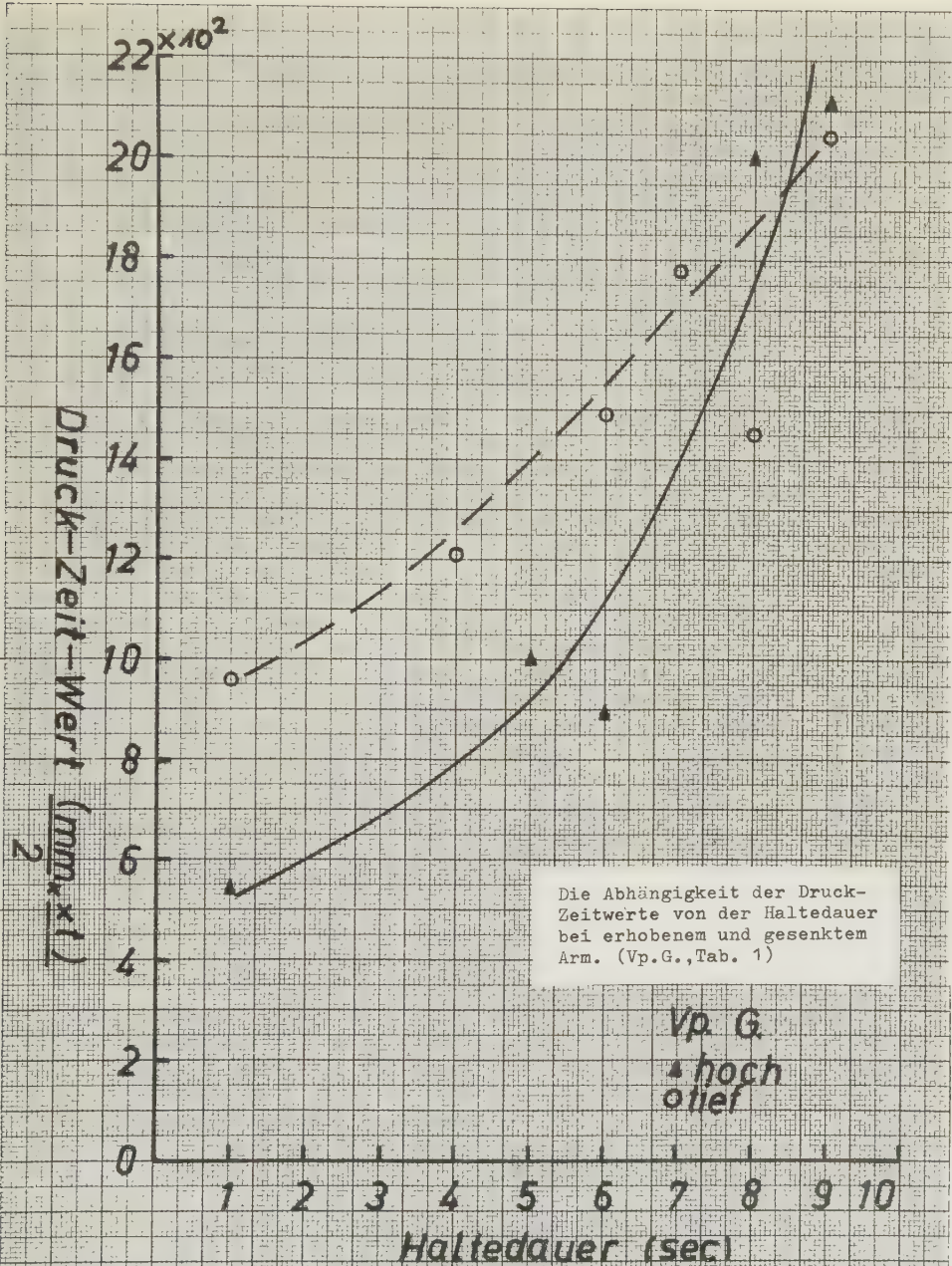


Abb 4a.

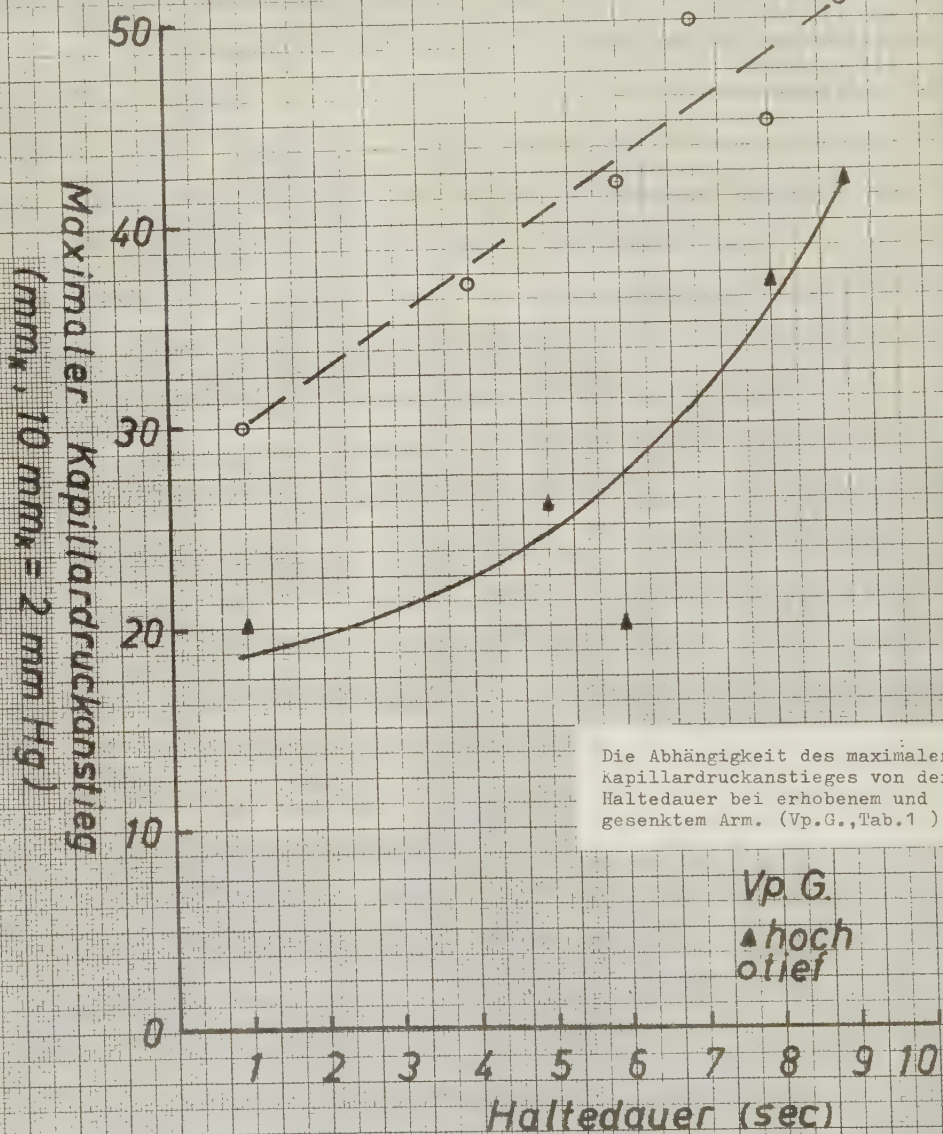


Abb. 4b

ratur in dieser Zeit um 15 Grad bzw. steigt um 5 Grad.

Die Lage des Unterarmes wurde durch Hängenlassen desselben (mit alleiniger Unterstützung des Handgelenkes) bzw. durch Erheben des Armes fast bis zur Senkrechten (mit Festhalten der Hand durch eine Schlinge) verändert.

Insgesamt wurden über 400 Messungen der Durchblutungsreaktion nach Muskularbeit vorgenommen, von denen jedoch nur ein Teil wegen technischer Schwierigkeiten ausgewertet werden konnte. Die wesentliche Störung im Versuchsverlauf bereitete die oft ungenügende Entspannung der Muskulatur sofort nach Beendigung der Muskularbeit bzw. die durch die Muskularbeit oft ausgelöste Lageänderung des Unterarmes und der Hand, weil hierdurch die für die Auswertung notwendige "Nulllinie" verschoben wurde. Wegen der unvollständigen Muskelentspannung war eine sichere Auswertung der Lageversuche nicht möglich (s. Besprechung).

Als Nulllinie wurde die abszissenparallele Gerade durch den letzten diastolischen Druckwert vor Beginn der Muskularbeit genommen. Wie die Kapillardruckkurve der Abb. 3 zeigt, steigt der registrierte Druck mit der willkürlichen Muskelspannung während der Kompression des Gummiballes als Folge der hohen Gewebespannung zunächst steil an und fällt sofort nach Beendigung der Kontraktion auf einen Druckwert ab, der - abhängig von der beginnenden reaktiven Gefäßerweiterung - schon einige Millimeter Hg über dem Ausgangswert liegt. Mit zunehmender Gefäßerweiterung nimmt dann der Kapillardruck zu und erreicht nach wenigen Pulsen den Maximalwert, von dem er langsam

zum Ausgangswert (Nulllinie) zurückkehrt. Bei einer derartigen Kurve können als Maß der Durchblutungsänderung

- a) die Dauer der Kapillardruckänderung (sec)
- b) der maximale Kapillardruckanstieg (mm Hg) und
- c) der Druck-Zeit-Wert (Flächenintegral) (mm Hg x sec)

bestimmt werden. Als Flächenintegral wurde der Inhalt eines Dreiecks angesehen, dessen Grundseite die Dauer der Kapillardruckänderung auf der Nulllinie und dessen Spitze der höchste diastolische Druckwert (s. Abb. 3) bildete.

Ein Teil der registrierten Kurven (34 von 216) konnte, wie schon erwähnt, nicht ausgewertet werden, weil die Nulllinie infolge veränderter Ausgangslage (Armlage bzw. Muskelspannung) entweder nicht mehr erreicht oder sogar überschritten worden war.

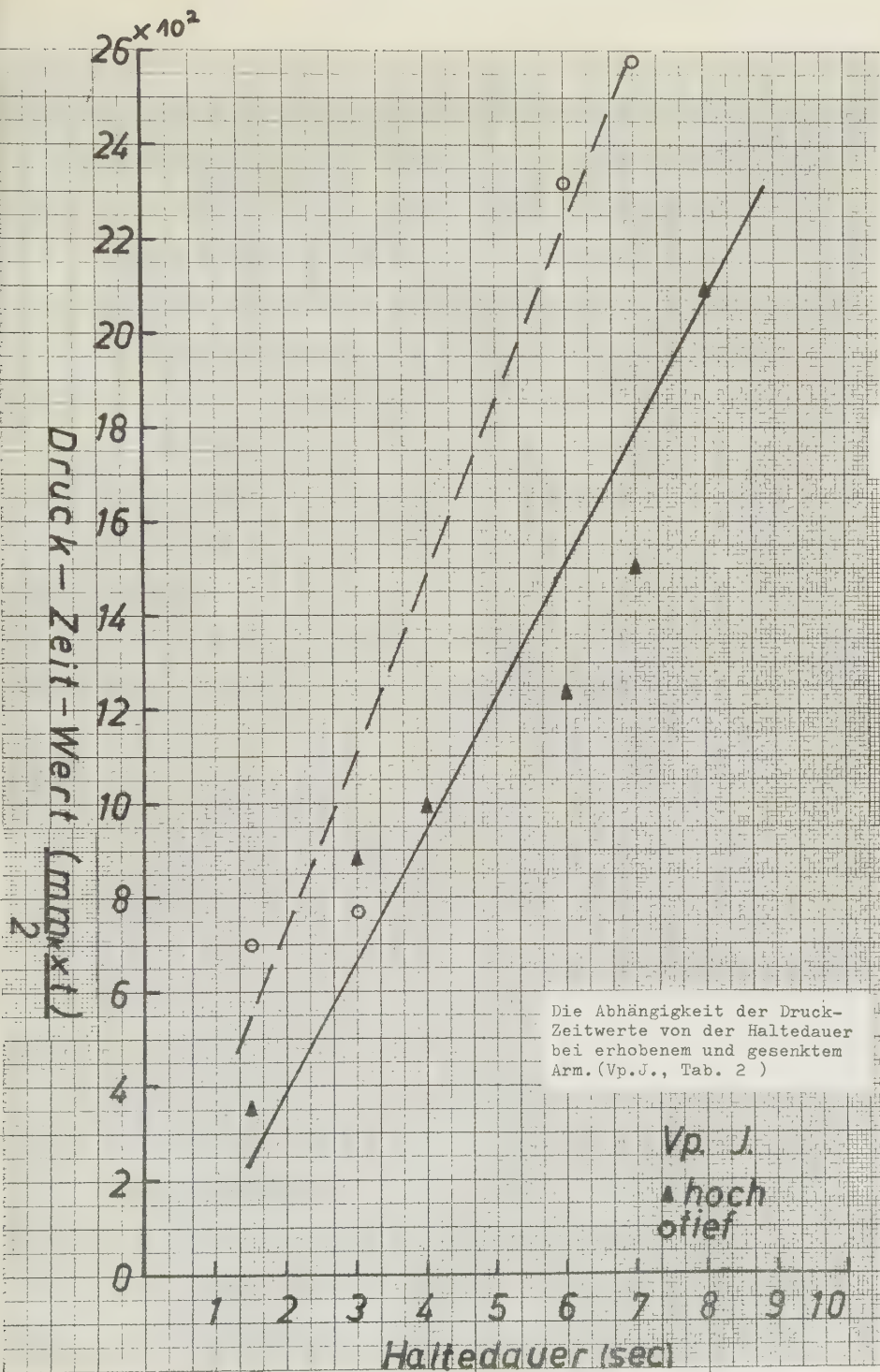


Abb. 5a

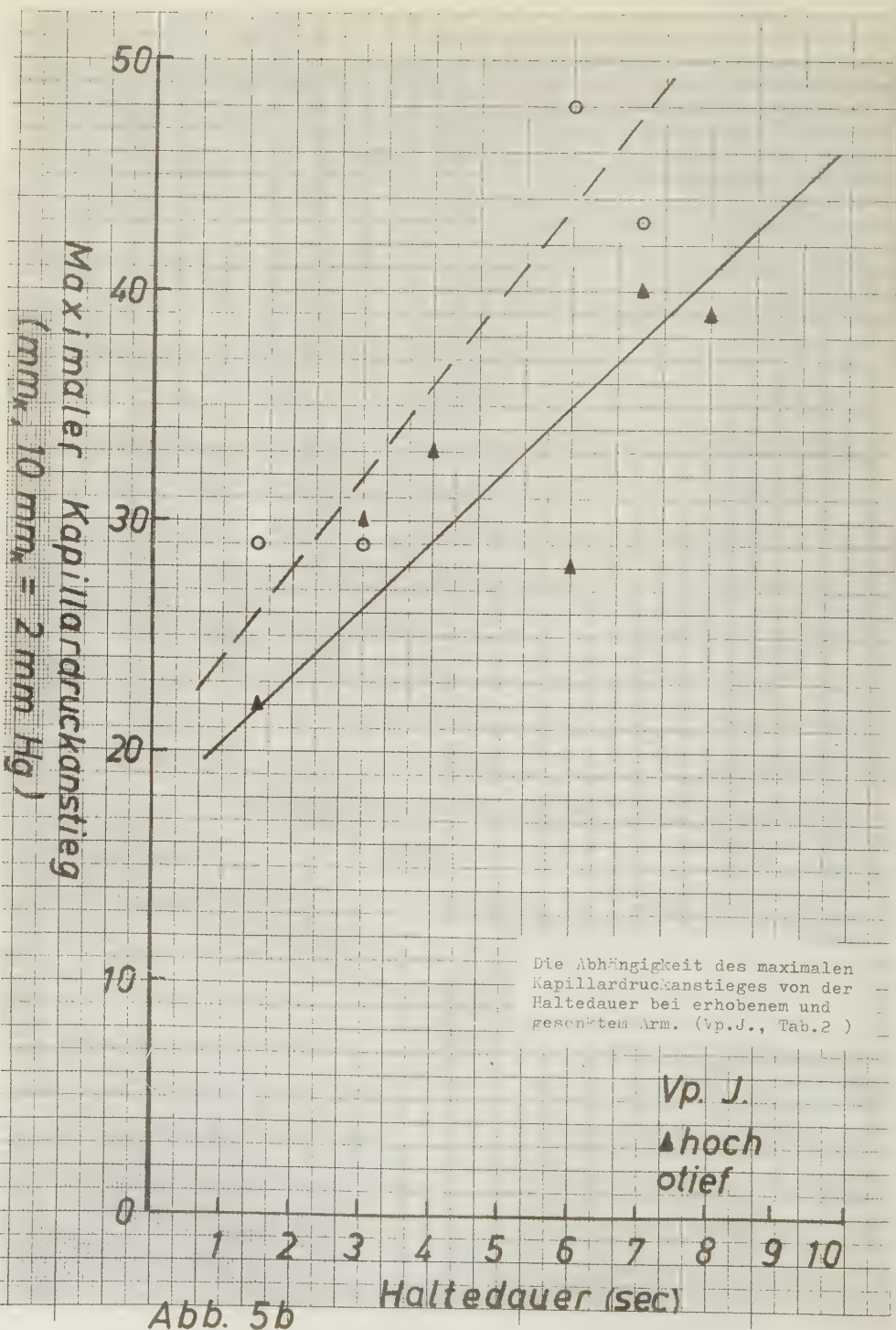


Abb. 5b

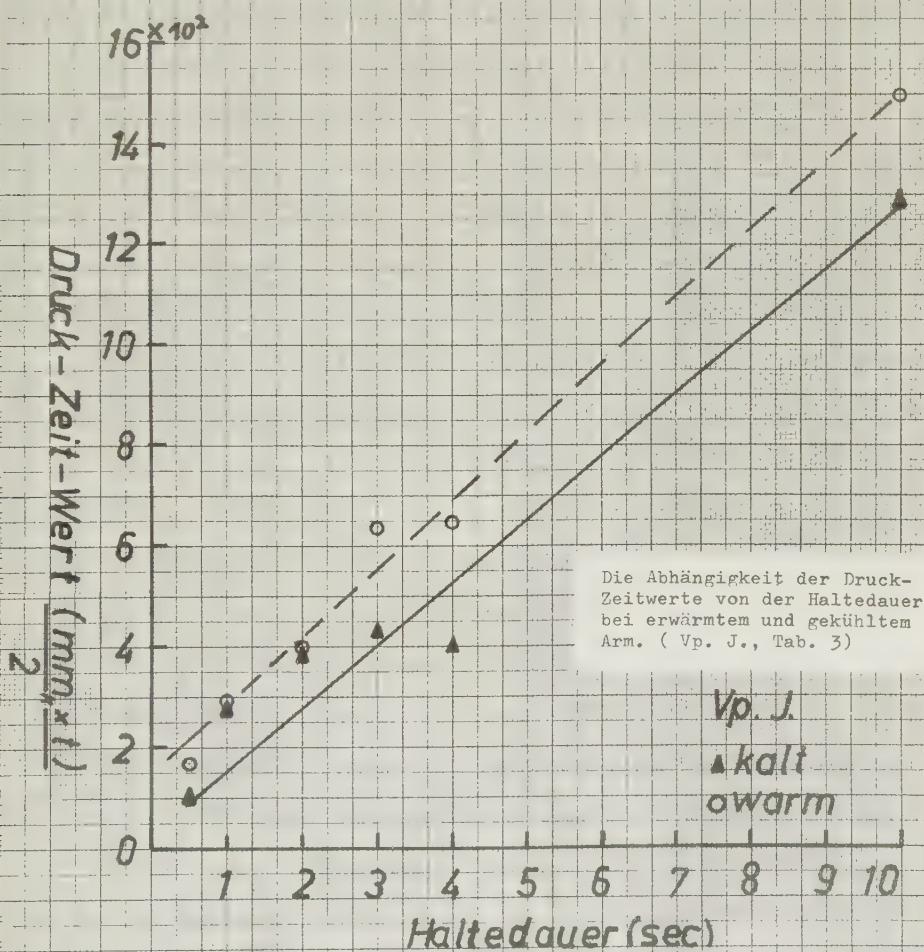


Abb. 6a

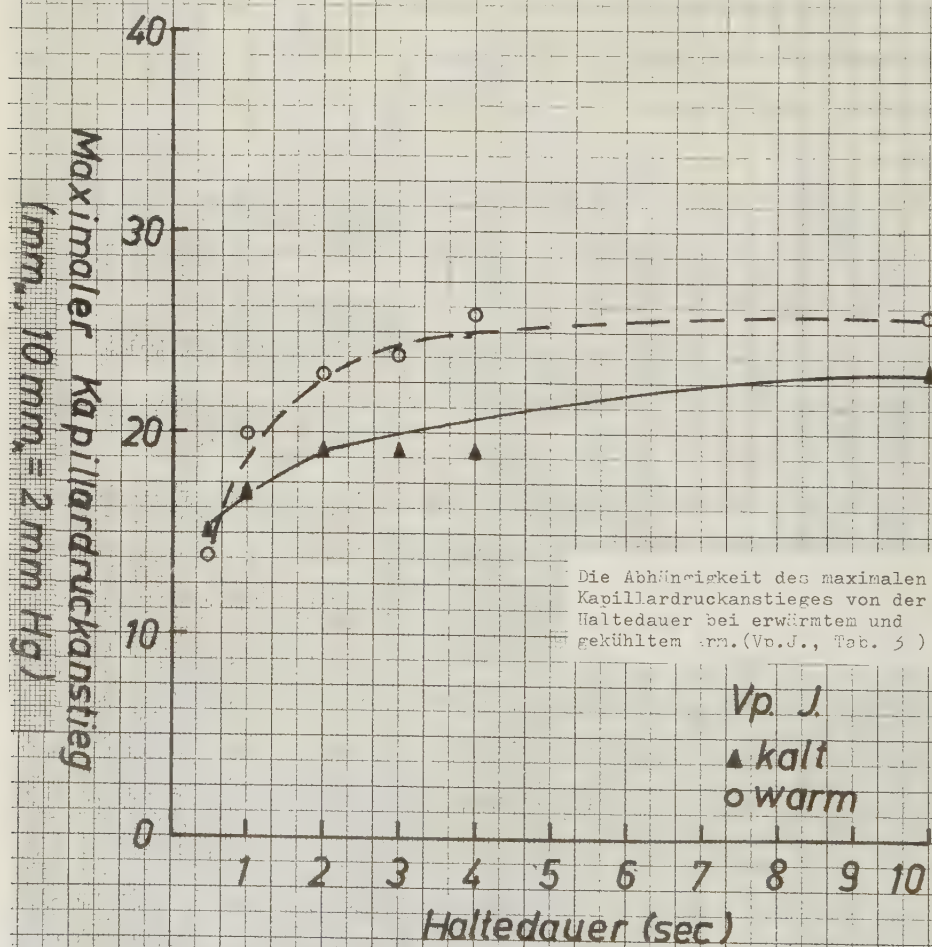


Abb. 6b

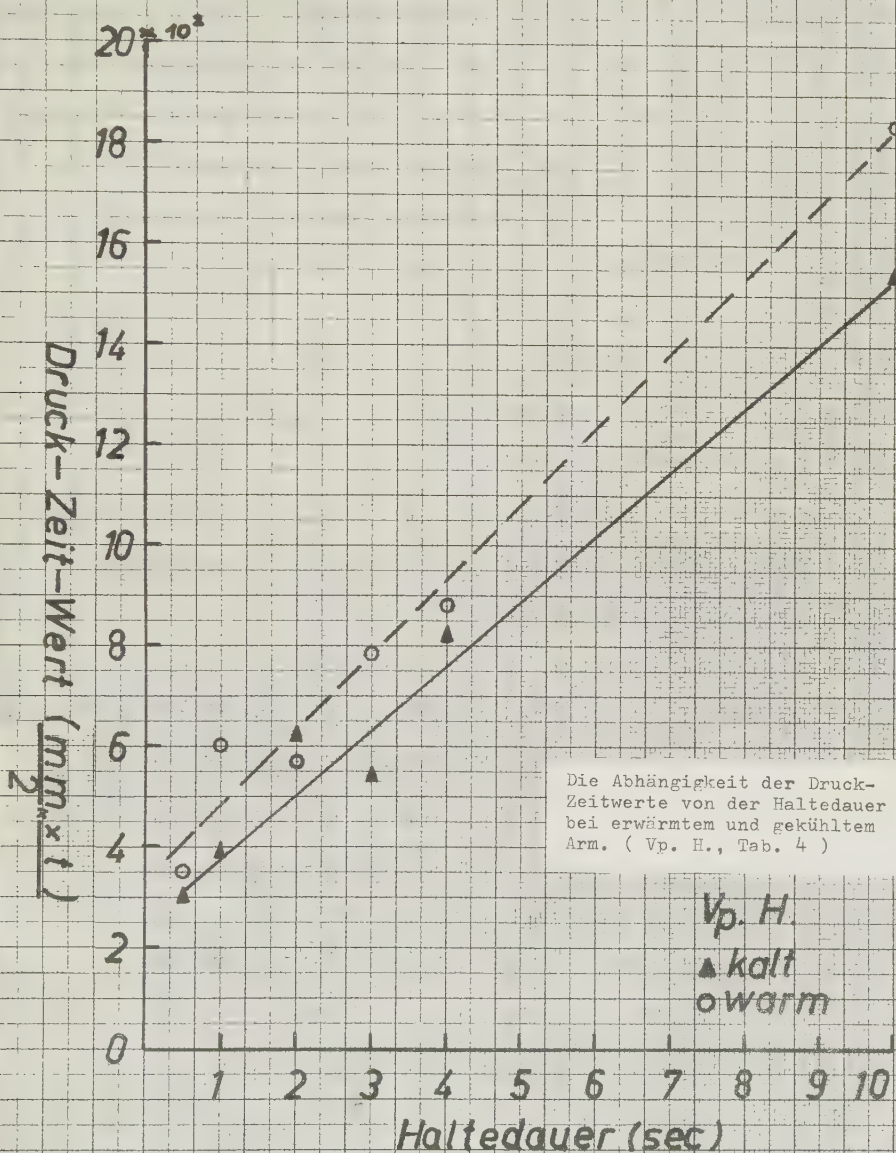


Abb. 7a

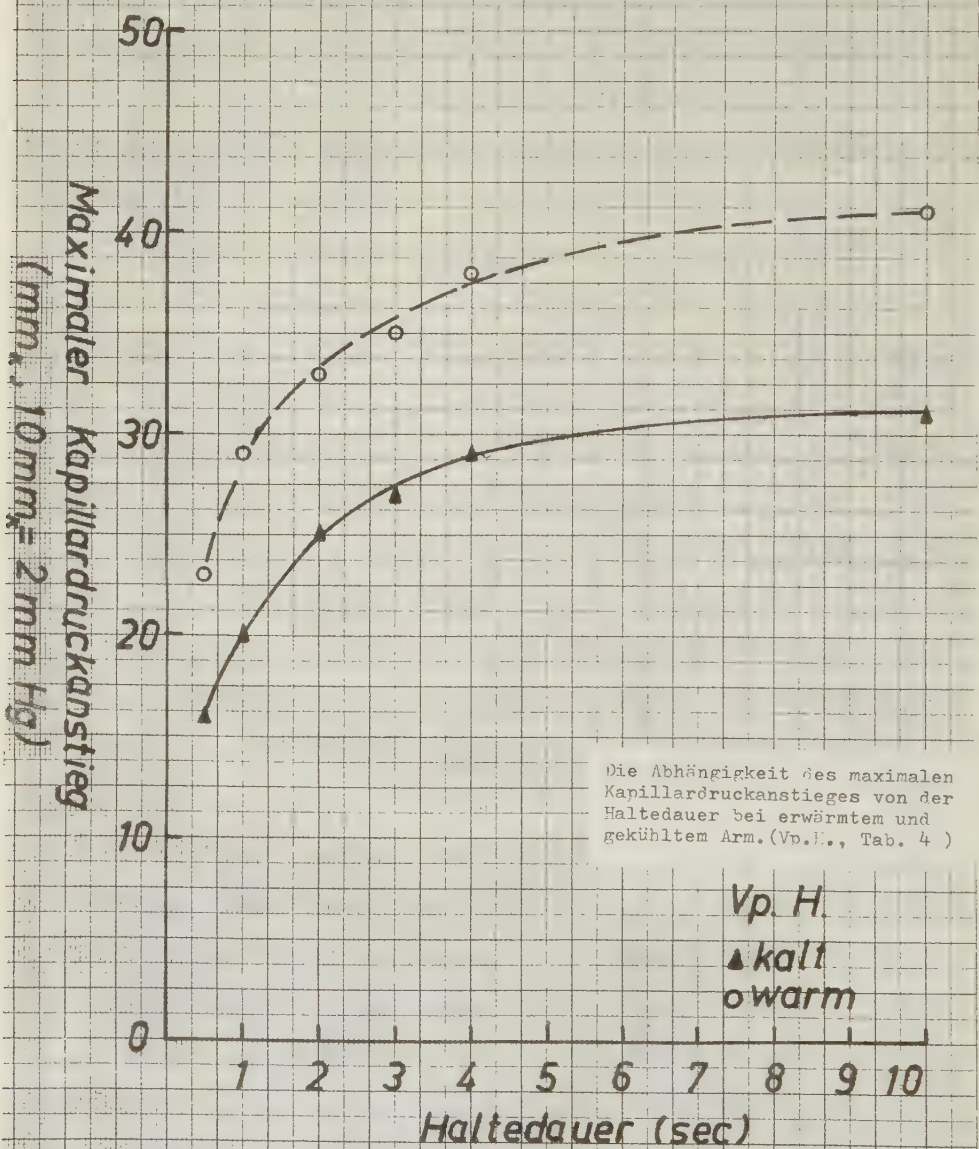


Abb. 7b

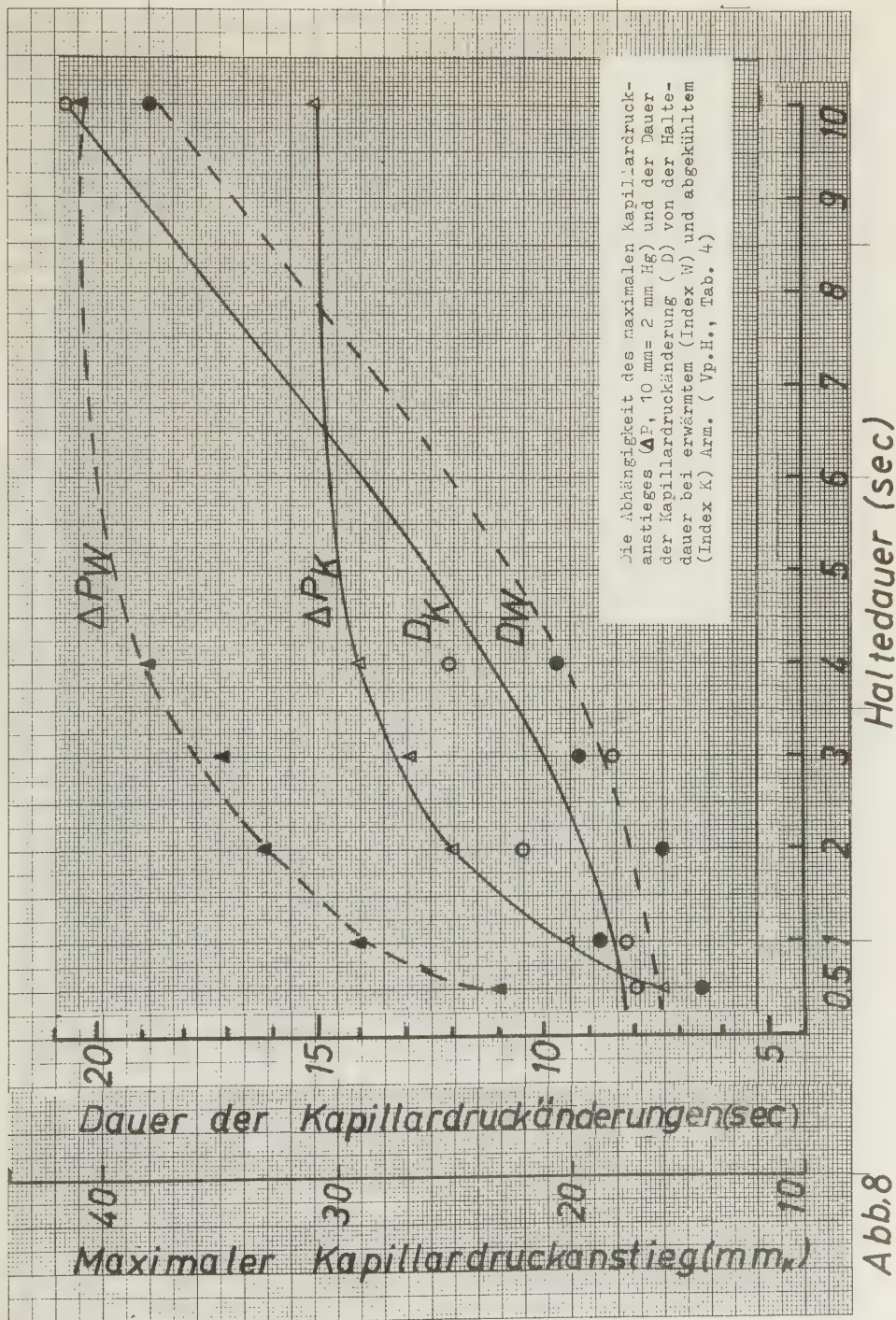


Abb.8

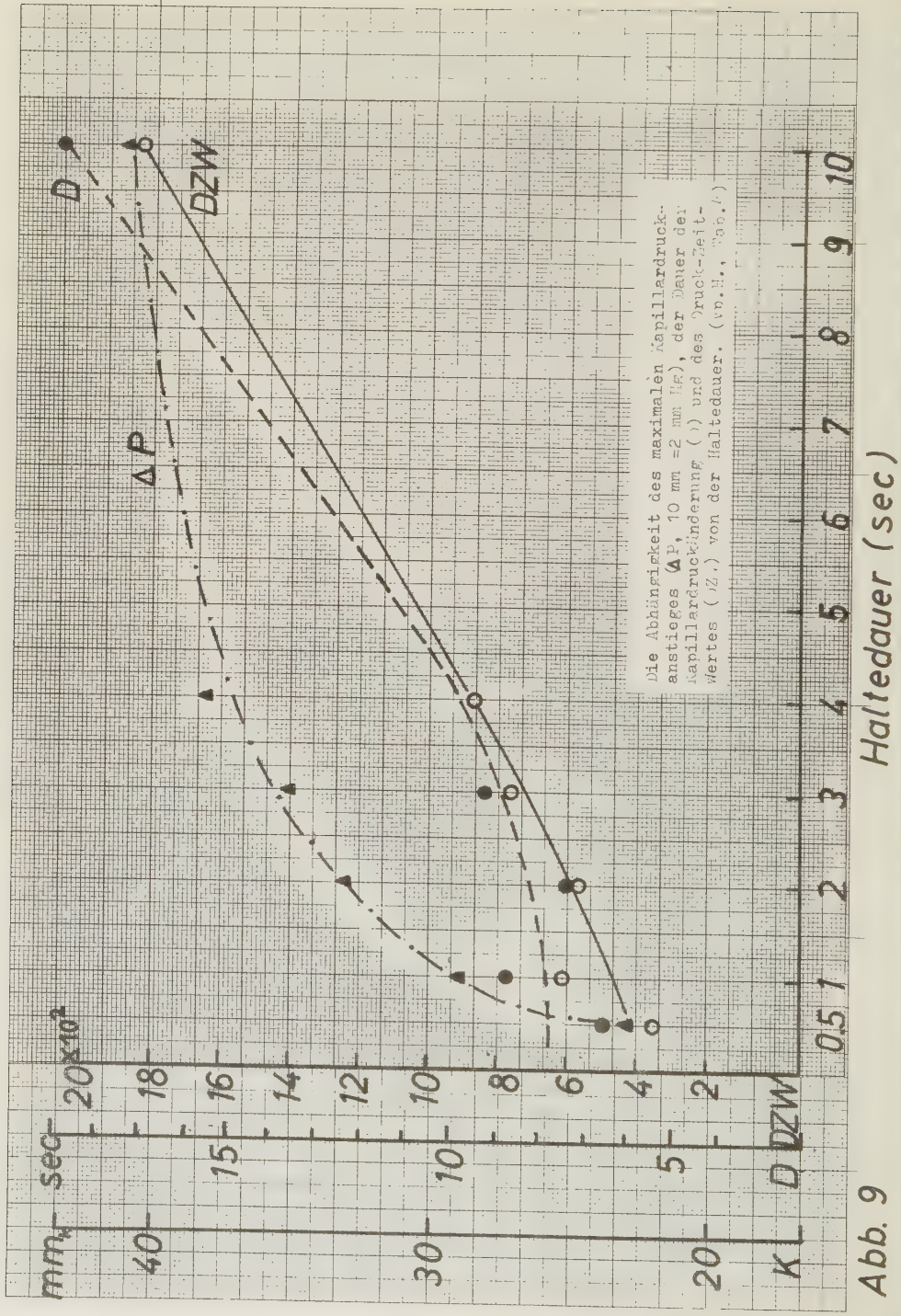


Abb. 9

Legende zu den Tabellen 1 - 4

Die Abhängigkeit der Höhe und Dauer der Kapillardruckänderung bzw. der Druck-Zeit-Werte von der Muskelarbeit (Haltedauer) bei den verschiedenen Versuchspersonen.

Tab. 1 u. 2 Einfluß der Armlage

Tab. 3 u. 4 Einfluß der Armtemperatur

Die in den Spalten 2, 3, 6 und 7 aufgeführten Werte sind den Originalkurven direkt entnommen:

4,8 mm der Abscisse (t) entsprechen 1 sec,

10 mm der Ordinate entsprechen 2 mm Hg.

Die Druck-Zeit-Werte geben den Flächeninhalt in mm^2 an.

Tabelle 1

Vp. G.

Halte- dauer (sec)	Maximaler Kapillardruck- anstieg in mm _K (10mm _K =2mmHg)		Dauer der Kapillardruck- änderung (sec)		Druck-Zeit-Wert $\frac{\text{mm}_K \times t}{2}$ (4,8t=4,8mm=1 sec)	
	(tief)	(hoch)	(tief)	(hoch)	(tief)	(hoch)
1	30	20	13,32	11,35	960	540
4	37	-	13,65	-	1210	-
5	-	26	-	16,2	-	1000
6	42	20	14,81	18,55	1490	890
7	50	-	14,82	-	1780	-
8	45	37	13,45	22,5	1450	2000
9	51	42	16,78	20,86	2050	2110
Mittel- werte	42,5	23	14,48	20,84	1490	1305
tief hoch	+ 46%		- 19%		+ 14%	

Tabelle 2

Vp. J.

Halte- dauer (sec)	Maximaler Kapillardruck- anstieg in mm _K (10mm _K 2 mm Hg)		Dauer der Kapillardruck- änderung (sec)		Druck-Zeit-Wert $\frac{\text{mm}_K \times t}{2}$ (4,8t=4,8mm=1sec)	
	(tief)	(hoch)	(tief)	(hoch)	(tief)	(hoch)
1,5	29	22	10,0	6,62	700	350
3	29	30	11,05	12,27	770	880
4	-	33	-	12,51	-	990
6	48	28	20,22	18,35	2320	1230
7	43	40	25,0	15,65	2580	1500
8	-	39	-	22,3	-	2090
Mittel- werte	37,2	32,0	16,58	14,62	1590	1170
tief hoch	+ 16%		+ 13%		+ 36%	

Tabelle 3

Vp. J.

Halte- dauer (sec)	Maximaler Kapillardruck- anstieg in mm _K (10mm _K = 2 mmHg)		Dauer der Kapillardruck- änderung (sec)		Druck-Zeit-Wert $\frac{\text{mm}_K \times t}{2}$ (4,8t=4,8mm=1sec)	
	(warm)	(kalt)	(warm)	(kalt)	(warm)	(kalt)
0,5	14	(15)	5,03	3,02	169	109
1	20	17	6,04	7,04	290	288
2	23	19	7,28	8,54	402	389
3	24	19	11,25	9,46	647	432
4	26	19	10,4	8,75	649	408
10	26	23	24,0	23,3	1508	1296
Mittel- werte	22,2	18,7	10,7	10,0	610	487
warm kalt	+ 19%		+ 6%		+ 25%	

Tabelle 4

Vp. H.

Halte- dauer (sec)	Maximaler Kapillardruck- anstieg in mm _K (10mm _K = 2 mmHg)		Dauer der Kapillardruck- änderung (sec)		Druck-Zeit-Wert $\frac{\text{mm}_K \times t}{2}$ (4,8t=4,8mm=1sec)	
	(warm)	(kalt)	(warm)	(kalt)	(Warm)	(kalt)
0,5	23	16	6,46	7,92	356	304
1	29	20	8,75	8,34	608	399
2	33	25	7,28	10,43	578	625
3	35	27	9,28	8,43	782	545
4	38	29	9,68	12,1	883	842
10	41	31	18,75	20,75	1840	1545
Mittel- werte	33,2	24,8	10,0	11,3	840	712
warm kalt	+ 34%		- 11%		+ 18%	

Tabelle 5 . Bisherige Untersuchungen über die Ruhedurchblutung bei Erhöhung des transmuralen Druckes und Änderung der Temperatur.

A. Erhöhung des transmuralen Druckes durch:	Ergebnis	Methodik	Autor
Senken der Extremität	Durchblutungskonstanz (Haut-Muskel) der Extremität	Venenverschluß-plethysmographie	<u>Abramson</u> und Mitarbeiter
Unterdruck	"	"	<u>Greenfield</u> und <u>Patterson</u>
"	"	"	<u>Coles</u>
"	"	"	<u>Coles</u> und <u>Greenfield</u>
Senken und Heben der oberen Extremität	Durchblutungskonstanz (Muskel)	"	<u>Hurtig</u>
B. Änderung der Temperatur durch:	Ergebnis	Methodik	Autor
Aufheizen der Versuchsperson im Bad	Abnahme der Muskeldurchblutung (60-80%)	Thermosonde	<u>Barcroft</u> und Mitarbeiter
Eintauchen der Extremität in Wasser von 1 Grad C	3-4fache Durchblutungssteigerung der Muskulatur	Venenverschluß-plethysmographie	<u>Clark</u> , <u>Hellon</u> u. <u>Lind</u>

C. Ergebnisse

=====

In den Tabellen 1 bis 4 sind die bei den verschiedenen Versuchspersonen und Versuchsanordnungen (Änderung der Armtemperatur bzw. der Armlage) gewonnenen Meßergebnisse zusammengestellt. Die 1. Kolonne enthält jeweils die verschiedenen Arbeitszeiten (Haltezeiten), die 2. Kolonne die Werte des maximalen Kapillardruckanstieges, die 3. Kolonne die Dauer der Kapillardruckänderung und die 4. Kolonne die Druck-Zeit-Werte. Die drei letzten Kolonnen sind dann noch unterteilt in die Meßwerte für den erwärmten ("warm") und abgekühlten Arm ("kalt") bzw. gesenkten ("tief") und erhobenen Arm ("hoch"). Bei den Werten der verschiedenen Armlagen (Tab. 1 und 2) handelt es sich um das arithmetische Mittel der Einzelwerte einer gleichartigen Versuchsreihe. Bei den Temperaturversuchen (Tab. 3 und 4) wurden die Werte einer Mittelwertkurve entnommen, welche aus den übereinander gezeichneten Einzelkurven einer Zeitgruppe gewonnen worden waren. Diese Art der Auswertung war für die Versuche an der erwärmten Extremität notwendig, um die infolge der Gefäßerweiterung stark vergrößerten respiratorischen Druckschwankungen zu unterdrücken.

In den Diagrammen (Abb. 4 a bis 7 b) sind die Änderungen des Druck-Zeit-Wertes und des maximalen Kapillardruckanstieges in Abhängigkeit von der Haltedauer bei den verschiedenen Versuchsanordnungen dargestellt. Mit größerer Arbeit (Haltedauer) nehmen sowohl Höhe wie Dauer der Kapillardruckänderungen in der Weise zu, daß ein im Mittel praktisch linearer Anstieg der Druck-Zeit-Werte resultiert.

Bei den Temperaturversuchen beruht dieser lineare Anstieg aber nicht darauf, daß Kapillardruckwerte und Dauer der Kapillardruckänderung im gleichen Verhältnis zunehmen. Die Kurven des maximalen Kapillar-

druckanstiegs und der Dauer der Kapillardruckänderung (Abb. 8) verhalten sich unterschiedlich. Mit zunehmender Arbeit steigt nämlich die Kurve des maximalen Kapillardruckanstieges sofort steil an, während die Kurve der Dauer der Kapillardruckänderung zunächst fast horizontal verläuft. Die Kurve der Dauer der Kapillardruckänderung beginnt erst stärker anzusteigen, wenn die Kurve des maximalen Kapillardruckanstieges schon fast horizontal verläuft, d.h. ihren Maximalwert erreicht hat. Der praktisch lineare Anstieg der Druck-Zeit-Werte beruht also bei geringer Haltedauer auf der bevorzugten Zunahme des Kapillardruckes und bei größerer Haltedauer auf der bevorzugten Zunahme der Dauer der Kapillardruckänderung (Abb. 9).

Beim erwärmten Unterarm ist bei gleicher Arbeit der maximale Kapillardruckanstieg größer als bei abgekühltem Unterarm, während die Dauer der Kapillardruckänderung bei abgekühltem Unterarm größer als bei erwärmtem ist (s. Abb. 8).

Bei den Lageveränderungen läßt sich dieser Gang der Kapillardruckwerte infolge der starken Streuung der Einzelwerte nicht nachweisen.

D. Besprechung

=====

Die energetische Versorgung der Skelettmuskelfasern erfolgt nach den heutigen Vorstellungen nur durch die Wand der echten oder nutritiven Kapillaren. Durch diese nutritiven Kapillaren fließt aber nicht das gesamte, über die Arterien in den Skelettmuskel einströmende Blut. Ein unterschiedlich großer Teil des Blutes kann unter Umgehung der Kapillaren durch "Kurzschlußgefäße" direkt von den Arterien in die Venen gelangen. Der anatomische Nachweis von Kurzschlußgefäßen in der Skelettmuskulatur (Zweifach 1949, Saunders 1957) ist zwar auch heute noch (bis auf Bügelkapillaren im Interstitium; Hammersen 1962) umstritten, doch konnte der physiologische Nachweis eines Kurzschlußkreislaufes durch die gleichzeitige Messung des Kapillaraustausches bzw. der kapillären Austauschfläche und der Größe der Gesamtdurchblutung erbracht werden (Hyman und Mitarbeiter 1959, Schroeder 1959, Hyman und Lenthal 1962, Renkin und Rosell 1962, Rosell und Uvnäs 1962).

Diese Kurzschlußgefäße werden von sympathischen, cholinergischen Nervenfasern versorgt, deren Erregungszustand die Größe der Kurzschlußdurchblutung bestimmt (Übersicht bei Schroeder 1964). Wegen des Kurzschlußkreislaufes ist es nicht möglich, die nutritive Durchblutungsgröße mit Hilfe einer Methode zu ermitteln, welche - wie die Venenverschlußplethysmographie - die Gesamtdurchströmung des Muskelgewebes erfaßt. Mit der Methode der Venenverschlußplethysmographie wird die Summe der nutritiven und der Kurzschlußdurchblutung gemessen. Es ist bis heute noch kein Verfahren bekannt

geworden, mit dem entweder die nutritive oder die Kurzschlußdurchblutung allein quantitativ erfaßt werden könnte. Vergleichende Untersuchungen über die Durchblutungsreaktion der nutritiven Kapillaren nach Muskularbeit sind nur durch Registrierung der Änderungen des integrierten Kapillardruckes nach Schroeder möglich.

Wie die Originalabbildung eines derartigen Versuches zeigt (Abb. 3), steigt der Kapillardruck bei Muskularbeit von ca. 1,2 sec Dauer bereits innerhalb von 1 sec an, wenn man den Druckanstieg auf den Wert des Ausgangsdruckes extrapoliert. Das Kapillardruckmaximum wird, abhängig von der Muskelleistung, innerhalb von 1,5 bis 7 sec erreicht, und nach 3 bis 25 sec kehrt der Kapillardruck zum Ausgangswert zurück. Da sowohl die Größe als auch die Dauer der Kapillardruckänderung der Arbeitsgröße proportional sind, können mit dieser Methode vergleichende Untersuchungen unter geeigneten Versuchsbedingungen (s. weiter unten) gemacht werden. Zunächst zeigte sich im "Normalbereich", d.h. bei horizontaler Armlage und Zimmertemperatur, daß es mit zunehmender Muskularbeit nicht zu entsprechenden Steigerungen des Kapillardruckes und der Dauer der Kapillardruckänderung kommt (s. Abb. 9).

Wie schon bei den Ergebnissen kurz geschildert, eilt die Zunahme des Kapillardruckes der Zunahme der Dauer der Kapillardruckänderung voraus. Die Dauer der Kapillardruckänderung nimmt erst dann stärker zu, wenn der Kapillardruck sich einer maximal erreichbaren Kapillardruckhöhe weitgehend genähert hat. Der in den Versuchen erreichte maximale Kapillardruckwert war bei den einzelnen Versuchspersonen unterschiedlich, bei normaler Armlage wurden von der Vp. J. 13 und der Vp. H. 20,5 mm Hg erreicht. Die maximalen Druckwerte wurden in den Normal-

versuchen praktisch schon bei einer Haltedauer von 5 sec erreicht, weil der Kapillardruck bei längeren Haltearbeiten nur noch unwesentlich anstieg. Dieses Verhalten des Kapillardruckes wurde ausnahmslos in allen Normalversuchen gefunden. Da der registrierte Kapillardruckanstieg der Eröffnung und Erweiterung von Kapillaren proportional ist, läßt sich durch diese Versuche zeigen, daß die Muskulatur zunächst bestrebt ist, eine Durchblutungsschuld durch sofortige und evtl. maximale Kapillareröffnung zu vermeiden. Solange eine maximale Kapillareröffnung nicht notwendig und nicht erreicht wird, wird der Durchblutungsbedarf in weniger als 60 sec, der "minimalen Durchblutungszeit", befriedigt, d.h. innerhalb dieser Zeit kehrt der Kapillardruck zum Ausgangswert zurück.

Mit dem Erreichen des maximalen Kapillardruckanstieges (der maximalen Kapillarerweiterung) nimmt die Dauer der Mehrdurchblutung (der Kapillardruckänderung) über die minimale Durchblutungszeit proportional der Muskelarbeit zu. Der Muskel kann seinen Durchblutungsbedarf während der "minimalen Durchblutungszeit" durch entsprechende Kapillarerweiterung nicht mehr befriedigen und ist gezwungen, eine Durchblutungsschuld einzugehen.

Diese Durchblutungsreaktion wird durch Temperatureinflüsse in charakteristischer Weise verändert, wie die Diagramme 6 a, 6 b und 7 a, 7 b von Versuchen bei abgekühltem bzw. erwärmtem Arm zeigen.

Bei gleicher Arbeit war der Kapillardruckanstieg bei erwärmtem Arm größer (J: + 19 %; H: + 34 %) als bei abgekühltem. Die Dauer der Durch-

blutungsreaktion scheint durch die Temperaturänderung nicht verändert (J: + 6 %) oder etwas geringer geworden zu sein (H: - 11 %) (Abb. 8), doch ließ sich das Ende der Durchblutungsreaktion auf den registrierten Kurven oft nicht mit genügender Sicherheit erkennen. Die Druck-Zeit-Werte stiegen durch die Erwärmung um + 19 % (J) bzw. + 34 % (H). Der größere Kapillardruckanstieg bei erwärmtem Arm zeigt an, daß bei höherer Temperatur vorübergehend (während der Zeit des Druckmaximums von 3 bis 5 sec) mehr Kapillaren eröffnet bzw. stärker erweitert sind.

Die Erwärmung vermag also theoretisch die Arbeitsfähigkeit des Muskels infolge der verbesserten Blutversorgung zu steigern. Das aktive Aufwärmen der Muskulatur, das der Sportler vor einem Wettkampf durchführt, dürfte daher nicht nur die Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskeln erhöhen, sondern auch ihre energetische Versorgung auf dem Blutwege verbessern. Die Erwärmung des gesamten Organismus z.B. bei erhöhter Außentemperatur kann dagegen bei entsprechender Tätigkeit größerer Muskelgruppen zu einer Abnahme der muskulären Leistungsfähigkeit führen, weil "die verstärkte Hautdurchblutung den Muskeln Blut entzieht" (Müller).

Auch in der eigenen Versuchsanordnung muß mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß infolge der lokalen Erwärmung des Unterarmes die erhöhte Hautdurchblutung den Muskeln Blut entzieht. So konnte durch Barcroft und Mitarbeiter 1955 gezeigt werden, daß mit der Erwärmung des gesamten Organismus im Bad die Durchblutung der Extremität zunimmt (mit der Venenverschußplethysmographie gemessen), während die

Muskeldurchblutung abnimmt (mit der Wärmeleitsonde nach Hensel und Ruef gemessen). Bringt man den Unterarm in kaltes Wasser (1°C), steigt die plethysmographisch gemessene Durchblutung nach 5 bis 10 min auf das 3- bis 4-fache an. Dieser Durchblutungsanstieg wird - da er auch nach Ausschaltung der Hautzirkulation durch Adrenalin-Iontophorese nachweisbar ist - auf eine gesteigerte Muskeldurchblutung bezogen (Clarke, Hellon und Lind 1958). Wenn die Ruhedurchblutung des Muskels aber durch Erwärmung der Extremität reduziert ist, muß mit einer stärkeren Arbeitsdurchblutung als bei Ruhedurchblutung gerechnet werden. Es konnte nämlich durch Huth gezeigt werden, daß die Durchblutungssteigerung (Gesamtdurchblutung mit der Venenverschluß-plethysmographie gemessen) nach gleicher Muskelarbeit bei Personen mit (konstitutionell) geringer Ruhedurchblutung größer als bei solchen mit höherer Muskeldurchblutung ist.

Eine Zunahme der Unterarmdurchblutung durch Veränderung der Körperhaltung (passives Heben der unteren Extremität und des Beckens) hat jedoch nach den Untersuchungen von Dean und Skinner keinen Einfluß auf die Größe der Arbeitsdurchblutung.

Von den eingangs zitierten Untersuchungen anderer Autoren über den Einfluß der Temperatur auf die Arbeitsdurchblutung können mit den eigenen Versuchen nur diejenigen von Clarke und Hellon verglichen werden. Als Arbeitsform wurden nämlich von diesen Autoren ebenfalls isometrische Kontraktionen gewählt, die aber nicht nur bis zu 10 sec wie bei den eigenen Versuchen, sondern bis zu einer Dauer von 150 sec durchgeführt wurden. Diese langen Arbeitszeiten sind bei Messungen mit

der Venenverschlußplethysmographie zur Erzielung einer größeren Durchblutungssteigerung nötig, da geringe Durchblutungsänderungen mit dieser Methode nicht sicher erfaßt werden können. Wie bei den eigenen Versuchen war die Durchblutungszunahme der Kontraktionsdauer linear proportional, doch nahm die Arbeitshyperaemie mit der Temperatur zu.

Bei einer Kontraktionsdauer von 100 sec war sie bei einer Badtemperatur von 42 °C 3- bis 5mal größer als bei einer von 18 °C. Nach kurzdauernden Kontraktionen (25 sec) waren die Differenzen sehr gering. Bei Untersuchungen mit der Venenverschlußplethysmographie dürften diese Unterschiede, im Gegensatz zu der hier verwendeten Methode, auch nicht sicher erfaßbar sein.

Sowohl aus den Versuchen von Clarke und Hellon, wie aus den eigenen Untersuchungen ergibt sich also, daß bis zu einer Kontraktionsdauer von 10 sec (submaximale Arbeit) die Größe der Arbeitsdurchblutung (Gesamtdurchblutung mit der Venenverschlußplethysmographie bzw. Druck-Zeit-Werte mit integrierter Kapillardruckmessung ermittelt) durch Veränderungen der Armtemperatur (Bade Flüssigkeit zwischen 12 °C und 45 °C) nicht meßbar verändert wird. Daß trotzdem Temperaturveränderungen den Ablauf der Durchblutungsreaktion verändern, konnte durch die Unterschiede der Höhe und Dauer der Kapillardruckänderungen in dem untersuchten Temperaturbereich nachgewiesen werden. Im Gegensatz zu den Temperaturversuchen bei normaler Armlage können über die Versuchsergebnisse bei maximal geänderter Armlage (maximal gesenkter bzw. maximal erhobener Arm) keine sicheren Aussagen gemacht

werden. Infolge der Autoregulation ist die Muskeldurchblutung praktisch unabhängig von Lageänderungen der Extremität (s. Tab. 5), d.h. bei gesenktem Arm ist die Muskeldurchblutung nicht größer als bei erhobenem Arm. Theoretisch kann daher erwartet werden, daß auch die Größe der Arbeitsdurchblutung von der Armlage unabhängig ist. Tatsächlich konnten aber Differenzen der Mittelwerte der Druck-Zeit-Werte gefunden werden (G: + 14 %; J: + 36 % bei gehobenem Arm).

Diese Ergebnisse sind jedoch methodisch aus folgendem Grunde nicht zuverlässig: Die Werte des maximalen Kapillardruckanstieges lassen einmal den bei horizontaler Armlage typischen Gang der Kapillardruckänderung (abszissenkonkave Kurve) vermissen und zeigen zum anderen eine beträchtliche Streuung der Einzelwerte.

Diese Befunde weisen darauf hin, daß die Entspannung der Muskulatur bei erhobenem bzw. gesenktem Arm unvollkommen, d.h. die Muskulatur in "in Ruhe noch tätig" war. Eine unvollkommene Entspannung macht aber die Beurteilung der Dauer der Durchblutungsreaktion und damit die Berechnung der Druck-Zeit-Werte unsicher.

Zuverlässiger kann dagegen die Größe der maximalen Kapillardruckanstiege ermittelt werden, da das Kapillardruckmaximum in einer so kurzen Zeit (1,5 bis 7 sec) erreicht wird, in der mit Spannungsänderungen der Muskulatur infolge Willkürbewegungen nicht gerechnet zu werden braucht.

In allen Versuchen war der maximale Kapillardruckanstieg bei gesenktem Arm größer (im Mittel G: + 46 %; J: + 15 %) als bei erhobenem Arm. Bei gesenktem Arm werden die Kapillaren wie bei der Wärmeeinwirkung vorübergehend (während 3 bis 5 sec) stärker als bei gehobenem Arm eröffnet oder erweitert.

Damit konnte nachgewiesen werden, daß die Durchblutungsreaktionen der Muskelgefäße nach kurzdauernden Muskelkontraktionen durch Temperatur- und Lageänderungen des Unterarmes verändert werden. Dieser Nachweis wurde durch Anwendung der Methodik der integrierten Kapillardruckmessung ermöglicht, mit der im Gegensatz zur Venenverschlußplethysmographie kurzfristige Durchblutungsänderungen erfaßt werden können. Die durch Temperatur- und Lageänderungen bedingten Differenzen in der Durchblutungsreaktion (Kapillardruckreaktion) sind nämlich nur in den ersten, der Kontraktion nachfolgenden Sekunden nachweisbar. Mit der geheizten Thermosonde nach Hensel und Ruef lassen sich entsprechende Untersuchungen nicht anstellen, da jede Bewegung, besonders bei der willkürlichen Muskelkontraktion, die Sondenspitze verschiebt und damit die Eichung verändert.

E. Zusammenfassung

=====

Mit der Methode der fortlaufenden Registrierung des integrierten Kapillardruckes nach Schroeder wurden bei drei Versuchspersonen die Durchblutungsreaktionen der Unterarmmuskulatur nach kurzdauernden Muskelkontraktionen (1 bis 10 sec) untersucht, sowie deren Abhängigkeit von Temperatur- und Lageänderungen der Muskulatur ermittelt. Die Versuche ergaben, daß mit zunehmender Kontraktionsdauer (isometrische Kontraktion bei konstanter Muskelspannung) zunächst nur die Größe des Kapillardruckanstieges und erst später die Dauer der Kapillardruckänderung zunahmen. Die für die Versuchsperson maximale Kapillardrucksteigerung wurde in der Regel bei Kontraktionszeiten von 5 sec erreicht. Bei Kontraktionszeiten über 5 sec stieg der Kapillardruck nicht weiter an, jetzt vergrößerte sich nur die Dauer der Kapillardruckänderung. Das Produkt aus dem mittleren Kapillardruckanstieg und der Dauer der Kapillardruckänderung (Druck-Zeit-Werte) nahm mit der Kontraktionsdauer linear zu. Die Erwärmung des Unterarmes und die Senkung des Unterarmes unter Herzhöhe hatten einen bei gleicher Arbeit höheren Kapillardruckanstieg in den Sekunden unmittelbar nach Beendigung der Muskelarbeit zur Folge (im Mittel aller Versuche: erwärmter Arm: + 26,5 %; gesenkter Arm: + 31 %). Die Veränderungen der Druck-Zeit-Werte betrugen im Mittel aller Versuche bei erwärmtem Arm + 21,5 %, bei gesenktem Arm + 25 %. Hierbei muß jedoch einschränkend gesagt werden, daß die Dauer der Kapillardruckänderung und damit die Veränderungen der Druck-Zeit-Werte aus methodischen Gründen nicht mit der gleichen Sicherheit wie die Kapillardruckänderungen bestimmt werden konnten.

Literatur

1. BARBEY, K. u. P. BARBEY: Ein neuer Plethysmograph zur Messung der Extremitätendurchblutung.
Zeitschrift für Kreislaufforschg. 52, 1129 - 1140 (1963)
2. BARCROFT, H., K. D. BOCK, H. HENSEL u. A.H. KITCHIN:
Die Muskeldurchblutung des Menschen bei indirekter Erwärmung und Abkühlung.
Pflügers Arch. 261, 199 - 210 (1955)
3. BARCROFT, H. and O. G. EDHOLM: On the vasodilatation in human skeletal muscle during post-haemorrhagic fainting.
J. Physiol. 104, 161 - 175 (1945)
4. BRODIE, T. G. and A. E. RUSSEL: On the determination of the rate of blood flow through an organ.
J. Physiol. Brit. 32, 47 - 49 (1905)
5. CLARKE, R. S. J. and R. F. HELLON: Hyperaemia following sustained and rhythmic exercise in the human forearm at various temperatures.
J. Physiol. 145, 447 - 458 (1959)
6. CLARKE, R. S. J., R. F. HELLON and A. R. LIND: The duration of sustained contractions of the human forearm at different muscle temperatures.
J. Physiol. 143, 454 - 473 (1958)
7. CLARKE, R. S. J., R. F. HELLON and R. A. LIND: Local effects of temperature.
Clin. Sci. 17, 165 (1958)
Zit. nach Hellon, R. F. in: British Medical Bulletin 19, (2) (1963)

8. COOPER, K. E., O. G. EDHOLM and R. F. MOTTRAM:
The blood flow in skin and muscle of the human forearm.
J. Physiol. Brit. 128, 258 - 267 (1955)
9. COLES, D. R. and K. E. COOPER: Hyperaemia following arterial
occlusion or exercise in the warm and cold human forearm.
J. Physiol. 145, 241 - 250 (1959)
10. DEAN, H. M. and S. L. SKINNER: The effect of increased muscle blood
flow on exercise hyperaemia in the human forearm.
Aust. J. exp. Biol. 38, 413 - 418 (1960)
11. GIBBS, F. A.: Thermoelectric blood flow recorder in form of a needle.
Proc. Soc. exp. Biol. (N.Y.) 31, 141 - 146 (1933)
12. HAMMERSEN, F.: Das Muster der Muskelgefäße, in:
6. Oeynhäusener Gespräch: Probleme der Haut- und Muskeldurchblutung. (1962)
13. HENSEL, H. und J. RUEF: Fortlaufende Registrierung der Muskeldurchblu-
tung am Menschen mit einer Calorimetersonde.
Pflügers Arch. 259, 267 - 280 (1954)
14. HENSEL, H.: Die Messung der Muskeldurchblutung am Menschen.
Klin. Wochenschrift 34, 1223 - 1227 (1956)
15. HYMAN, Ch., S. ROSELL, A. ROSEN, R. R. SONNENSCHNIEB u. B. UVNÄS:
Effects of alteration of total muscular blood flow on local tissue
clearance of radio-jodide in the cat.
Acta physiol. scand. 46, 358 - 374 (1959)

16. HYMAN, Ch. u. J. LENTHALL: Analysis of clearance of intra-arterially administered labels from skeletal muscle.
Am. J. Physiol. 203, 1173 - 1178 (1962)

17. MÜLLER, E. A.: 535 in: Landois-Rosemann,
Lehrbuch der Physiologie des Menschen. München 1962

18. RENKIN, E. M., u. S. ROSELL: Independent sympathetic vasoconstrictor innervation of arterioles an praecapillary sphincters.
Acta physiol. scand. 54, 381 - 384 (1962)

19. ROSFLL, S. u. B. UVNÄS: Vasomotor nerve activity and oxygen uptake in skeletal muscle of the anesthetized cat.
Acta physiol. scand. 54, 209 - 222 (1962)

20. SAUNDERS, R. L. de C.H., J. LAWRENCE, D. A. MACIVER u. N. NEMETHY:
The anatomic basis of peripheral circulation in man.
In: Peripheral circulation in health and disease.
New York: Grune and Stratton 1957

21. SCHROEDER, W.: Eine einfache Methode zur fortlaufenden Registrierung von Änderungen der Haut- bzw. der Muskeldurchblutung des Menschen und des wachen Hundes (Kapillardruckmessung)
Z. ges. exp. Med. 130, 513 - 522 (1959)

22. SCHROEDER, W.: Beschreibung und Ergebnisse einer neuen Methodik zur quantitativen Durchblutungsmessung der Extremitätenmuskulatur.
Z. ges. exp. Med. 137, 1 - 11 (1963)

23. SCHROEDER, W.: Was wissen wir über die vegetative Steuerung der Skeletmuskeldurchblutung?
Acta Neurovegetativa 1964 (im Druck)
24. WHITNEY, R. J.: The measurement of volume changes in human limbs.
J. Physiol. 121, 1 - 27 (1953)
25. ZWEIFACH, B. W.: Basic mechanism in peripheral vascular homeostasis.
In: Factors regulating blood pressure, New York, 1949

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die der Medizinischen Fakultät Frankfurt/Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel " Untersuchungen über die Arbeits-hyperaemie bei verschiedener Lage und Temperatur der Unterarmmuskulatur " im Institut für animalische Physiologie unter der Leitung von Prof. Dr. W. Schroeder ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen, als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Frankfurt/Main, den 22.1.1965

Gerhard Jannin

Meine akademischen Lehrer waren:

Prof. Dr. R. Altmann
Prof. Dr. Dr. Dr. W. Artelt
Prof. Dr. M. Czerny
Prof. Dr. H. Dänzer
Prof. Dr. K. Felix
Prof. Dr. J. Frey
Prof. Dr. H. Frick
Prof. Dr. H. Giersberg
Prof. Dr. K. Greeff
Prof. Dr. Dr. P. Hauser
Prof. Dr. E. Herzog
Prof. Dr. J. Jürgens
Prof. Dr. G. Kahlau
Prof. Dr. H. Keller
Prof. Dr. A. Kleinschmidt
Lehrbeauftragter Dr. W. Koller
Priv. Doz. Dr. Dr. Kreter
Prof. Dr. M. Kuck
Prof. Dr. H. Kühne
Prof. Dr. E. Landes
Prof. Dr. K. Luff
Prof. Dr. H. Müser
Prof. Dr. R. Ortmann
Prof. Dr. J. v. Reckow
Prof. Dr. W. Ried
Prof. Dr. P. Royen
Prof. Dr. G. Rossberg
Prof. Dr. W. Sandritter
Prof. Dr. D. Starck
Prof. Dr. K. Wezler
Prof. Dr. Th. Wieland

L e b e n s l a u f

Am 7. Mai 1935 wurde ich als Sohn der Eheleute Heinrich und Johanna Jamin in Frankfurt (Main) geboren. Nach meiner Einschulung 1941 besuchte ich zwei Jahre in Frankfurt (Main) die Volksschule. Die Zeit vom Oktober 1943 bis zu meiner Rückkehr nach Frankfurt (Main) im Dezember 1945 verbrachte ich auf dem Westerwald.

Mit elf Jahren wurde ich auf das Heinrich von Gagern-Gymnasium umgeschult, wo ich 1956 die Reifeprüfung ablegte.

Mein zahnmedizinisches Studium begann ich mit dem Sommer-Semester 1956 an der Johann Wolfgang Goethe-Universität zu Frankfurt (Main). Hier legte ich 1958 die zahnmedizinische Vorprüfung und 1961 das Staatsexamen ab.

Zur Zeit bin ich als Zahnarzt an einer Klinik der amerikanischen Streitkräfte tätig.

Frankfurt (Main), den 22. 1. 1965

Gerhard Jamin

